



COMPUESTOS BIOACTIVOS EN FRUTOS CULTIVADOS Y SILVESTRES DE *Physalis* spp.

BIOACTIVE COMPOUNDS IN CULTIVATED AND WILD FRUITS OF *Physalis* spp.

Grigna Josefina Piña-Dumoulin, Aureliano Peña-Lomelí*, María del Rosario García-Mateos, María Teresa Martínez-Damián, Héctor Lozoya-Saldaña y Juan Enrique Rodríguez-Pérez

Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (penalomeli@gmail.com)

RESUMEN

Los nutraceuticos son compuestos bioactivos que están en alimentos de origen vegetal, aportan color y aroma, su consumo previene enfermedades y confieren beneficios a la salud; muchos de ellos pertenecen al grupo de los metabolitos secundarios (productos del metabolismo especializado); algunos participan en la protección de factores bióticos y abióticos. *Physalis* contiene alta diversidad de estos compuestos. El objetivo de esta investigación fue cuantificar compuestos bioactivos (carotenoides, sapogeninas, compuestos fenólicos totales, antocianinas) y la actividad antioxidante de extractos de frutos de 11 poblaciones de *P. ixocarpa*, *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides*. Las plantas fueron cultivadas en invernadero con sistema hidropónico. El diseño fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los frutos se cosecharon en madurez para consumo. Los parámetros evaluados fueron color, concentración de algunos metabolitos secundarios y actividad antioxidante. La concentración de carotenoides, sapogeninas, compuestos fenólicos y antocianinas, y la actividad antioxidante difirió entre las poblaciones ($P \leq 0.05$). *Physalis nicandroides* presentó la concentración mayor de carotenoides ($762.15 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$) y *P. peruviana* la mayor concentración de sapogeninas ($59.56 \text{ mg DE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$). La correlación positiva entre croma y concentración de sapogeninas (0.77) y entre concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante (0.74) fue altamente significativa ($P \leq 0.01$). Las poblaciones evaluadas contienen compuestos bioactivos y alta actividad antioxidante (51 a 71 % de inhibición de radical libre ABTS).

Palabras clave: actividad antioxidante, antocianinas, fenoles, sapogeninas, tomate de cáscara, uchuva.

SUMMARY

Nutraceuticals are bioactive compounds found in plant-based food, they provide color and aroma, their consumption prevents diseases and confers health benefits; many of them belong to the group of secondary metabolites (specialized metabolism products), some participate in protection of biotic and abiotic factors. *Physalis* has high diversity of these compounds. This research aimed to quantify bioactive compounds (carotenoids, sapogenins, total phenolic compounds, anthocyanins) and the antioxidant activity of fruit extracts from 11 populations of *P. ixocarpa*, *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* and *P. nicandroides*. Plants were grown in a greenhouse with hydroponic system. A randomized complete block design with four replications was used. Fruits were harvested at consumption maturity. Color parameters, secondary metabolites and antioxidant activity were evaluated. The

concentration of carotenoids, sapogenins, phenolic compounds, anthocyanins and the antioxidant activity differed between populations ($P \leq 0.05$). *Physalis nicandroides* had the highest concentration of carotenoids ($762.15 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ FW}$) and *P. peruviana* the highest of sapogenins ($59.56 \text{ mg DE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ FW}$). The positive correlation between chroma and sapogenin concentration (0.77), and between the concentration of phenolic compounds and antioxidant activity (0.74) was highly significant ($P \leq 0.01$). The populations evaluated have a high content of bioactive compounds and high antioxidant activity (51 to 71 % of ABTS free radical inhibition).

Index words: anthocyanins, antioxidant activity, cape gooseberry, husk tomato, phenolic compounds, sapogenins.

INTRODUCCIÓN

Algunos fitoquímicos son compuestos bioactivos presentes en alimentos de origen vegetal, aportan características al color y aroma, y confieren beneficios a la salud. En frutos y hortalizas la mayoría de ellos están en forma libre o como glucósidos solubles conjugados (Shahidi, 2009). La familia Solanaceae se considera fuente de fitoquímicos (Eick, 2008).

Las plantas pueden ser alimento y fuente de metabolitos con actividad curativa. Schippmann *et al.* (2005) estimaron que el número de especies usadas con propósitos medicinales es mayor de 52,000, de las cuales 2,500 son comercializadas mundialmente, pero sólo algunos cientos de ellas son cultivadas de manera formal.

Physalis peruviana pertenece a la familia Solanaceae, sus frutos contienen vitaminas, además de bioactivos con acción anticancerígena, como witanóidos y fisalinas (Chiang *et al.*, 1992; Ramadan, 2011). Las propiedades etnofarmacológicas de *Physalis* son atribuidas a compuestos como carotenoides, esteroides, ácidos fenólicos, flavonoides, glicósidos, taninos y alcaloides (Jovanović *et al.*, 2021).

Las saponinas son tensoactivas naturales de las plantas, propiedad atribuida a su estructura química con componentes hidrosolubles y liposolubles (Cheeke, 2000; San Martín y Briones, 2000). Estos compuestos se encuentran como glucósidos, se caracterizan por su sabor amargo y son factores antinutricionales endógenos (López y Rosas, 2016; Tacon, 1995) por su efecto negativo sobre la fermentación ruminal y el proceso digestivo en bovinos (Carmona, 2007) y, por disminuir la población de protozoarios ruminales, también se les conoce como agentes defaunadores. Esta acción está relacionada con la estructura de su aglicona, que puede ser triterpénica o esteroidea, y con los azúcares unidos a ella, que le permiten interaccionar con los esteroides de la membrana celular y formar poros que ocasionan lisis celular (Arabski *et al.*, 2012; Cheeke, 2000).

Las saponinas pueden estimular el crecimiento de bacterias celulolíticas y hongos ruminales, incrementar el aporte de proteínas microbiales al duodeno y generar mayor tasa de degradación de la materia orgánica, incluidos los almidones (Díaz *et al.*, 1993; Galindo *et al.*, 2000; Goetsch y Owens, 1985; Valdez *et al.*, 1986; Wang *et al.*, 2000). La información actual relacionada con su efecto en poblaciones de bacterias y la degradación de las fibras es contradictoria (Santos *et al.*, 2005; Wallace *et al.*, 1994; Wang *et al.*, 2000; Williams y Coleman, 1991). Las diferencias pueden deberse a la cantidad de alimento consumido (Carmona, 2007).

Los antioxidantes son compuestos que tienen la capacidad de prevenir reacciones químicas nocivas en las que se combina el oxígeno con sustancias como lípidos, proteínas y polisacáridos. La oxidación lipídica en los alimentos genera rancidez y los productos de esa reacción pueden ser mutagénicos y carcinogénicos (Embuscado, 2015).

Los carotenoides son sintetizados en las plantas y confieren coloración a los tejidos vegetales y de animales que los consumen. Compuestos como el α y β -caroteno y la β -criptoxantina son precursores de la vitamina A; sin embargo, la propiedad antioxidante de estos pigmentos es la que ha incrementado el interés por los alimentos que los contienen (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

La presencia y concentración de algunos productos del metabolismo especializado en las plantas están asociadas con el estrés. Algunos de ellos, como glucósidos de fenoles y lactonas, son sustancias antipatogénicas constitutivas, tóxicas para los microorganismos que invaden a la planta-hospedera, por liberación desde los compartimentos de la célula o después de una transformación enzimática

(Jankiewicz y Sobiczewski, 2003). Entre los compuestos fenólicos están los flavonoides, como las antocianinas, y los tejidos que los contienen son fuente de antioxidantes (Ghiselli *et al.*, 1998; Jankiewicz, 2003). Las antocianinas son glucósidos de antocianidinas, pertenecen al grupo de los flavonoides y representan los principales pigmentos solubles en agua visibles al ojo humano. La concentración mayor de antocianinas se encuentra en flores y frutos, pero las semillas, tallos y hojas también pueden contenerlas (Aguilera *et al.*, 2011). El color de los tejidos varía con el tipo y la concentración de antocianinas (Salinas *et al.*, 2013).

Medina-Medrano *et al.* (2015) evaluaron poblaciones de *Physalis* recolectadas en Durango, México y determinaron que *P. angulata*, *P. heredifolia*, *P. solanacea*, *P. patula* y *P. subulata* contienen compuestos fenólicos con actividad antioxidante.

En México existen 70 especies silvestres y cultivadas del género *Physalis*, al menos 19 de ellas se recolectan para consumo como hortaliza; dentro de este grupo, *P. ixocarpa* es la más importante como cultivo para el consumo nacional y para la exportación (Santiaguillo y Blas, 2009; Santiaguillo *et al.*, 2010; 2012). El Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) tiene registradas únicamente 23 variedades de la especie *P. ixocarpa*, 16 de ellas pertenecen a la Universidad Autónoma Chapingo, además existen nueve registros de otras especies del mismo género (Bautista *et al.*, 2016; SNICS, 2022).

El estudio de la composición química de germoplasma poco explorado incrementa la posibilidad de comercialización y conservación de germoplasma en riesgo de extinción, pues el uso puede motivar su recolecta y resguardo en bancos (Schippmann *et al.*, 2005). El objetivo de la presente investigación fue cuantificar compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en extractos de frutos de *P. ixocarpa*, *P. peruviana*, *P. angulata*, *P. lagascae* y *P. nicandroides*, a fin de determinar su potencial de uso, bajo la hipótesis de que existen diferencias entre las especies estudiadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental y material genético

El ensayo se condujo entre julio de 2019 y enero de 2020. Once poblaciones de *Physalis* sp. (Cuadro 1) se cultivaron en un invernadero del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Texcoco, Estado de México (19° 29' 05" N, 98° 53' 11" O; 2250 msnm), con sistema hidropónico y tezontle como soporte.

Tratamientos, diseño y unidad experimental

Cada población correspondió a un tratamiento; el diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones y la unidad experimental consistió de un grupo de 19 plantas. De cada unidad experimental se obtuvieron tres muestras de frutos en madurez de consumo, una por subgrupo de seis plantas. Los frutos se cosecharon entre diciembre de 2019 y enero de 2020. En *P. peruviana* la cosecha se realizó en el grado 6 de color, según la Norma Técnica Colombiana 4580 (ICONTEC, 1999). Las muestras se analizaron en los Laboratorios de Postcosecha de Frutos y Fitoquímica del Departamento de Fitotecnia de la UACH.

Variables evaluadas

Luminosidad (L), croma y tono (°hue)

Fueron determinados con el método descrito por McGuire (1992) a partir de los valores L, a y b del epicarpio de los frutos, con un colorímetro portátil (ColorTec-PCM, Cole Palmer, Vernon Hills, Illinois, EUA).

$$\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$^{\circ}\text{hue} = \arctg b/a.$$

Carotenoides (CAR)

La cuantificación fue por espectrofotometría en extractos acuosos de acetona 80 % (v:v) (AOAC, 1990). La absorbancia se obtuvo en un espectrofotómetro de UV-Vis (Genesis Modelo 10S, Thermo Fisher Scientifics, Waltham, Massachusetts, EUA). Las concentraciones se expresaron en microgramos por 100 gramos de peso fresco ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$).

Sapogeninas (SAP)

Se cuantificaron con el método descrito por Hiai *et al.* (1976), modificado por Le *et al.* (2018), en extractos de 0.5 g de fruto fresco homogenizado (piel, semilla y pulpa) con etanol diluido con agua al 80 % (v:v). Las concentraciones se expresaron en mg equivalentes de diosgenina por 100 g de tejido fresco (mg DE $100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$), con base en la curva estándar:

$$A_{544} = 0.0011 [\text{diosgenina}] + 0.0887; R^2 = 0.992$$

Compuestos fenólicos totales (CFT)

Se cuantificaron con el método descrito por Waterman y Mole (1994) en extractos con metanol de 1 g de fruto molido y homogenizado. Las concentraciones se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por

Cuadro 1. Poblaciones de *Physalis* evaluadas[†].

Número	Población	Origen	Descripción
1	Jade TFG/Con registro SNICS	UACH	Cultivado. Fruto verde muy grande. Uso en salsas.
2	Zafiro MSM/Con registro SNICS	UACH	Cultivado. Fruto verde-morado mediano. Uso en salsas.
3	Arandas /158JAL42	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
4	Arandas /173JAL57	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
5	Arandas /182JAL65	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
6	Arandas /183JAL66	UACH	Cultivado. Fruto morado. Uso en salsas.
7	Juanacatlán	UACH	Silvestre. Resistente a virus. Uso en salsas.
8	<i>Physalis peruviana</i> L.	COLPOS	Cultivado. Fruto amarillo, pequeño y dulce. Consumo como fruta.
9	<i>Physalis angulata</i> L.	Guanajuato	Silvestre. Fruto pequeño. Uso en salsas.
10	<i>Physalis lagascae</i> Roem. et Schult.	Guanajuato	Silvestre. Fruto morado y pequeño. Consumo no especificado.
11	<i>Physalis nicandroides</i> Schltdl. /09MICH01	UACH	Silvestre. Uso en salsas, medicinal, ceremonial y como trampa vegetal.

[†]Fuentes: Pérez *et al.* (1992), Santiaguillo y Blas (2009), SNICS (2022), Tuxtla-Andrade *et al.* (2022). Las poblaciones 1 a 7 son *Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm., las poblaciones 9 y 10 se recolectaron en Guanajuato para este estudio, UACH: programa de mejoramiento genético de tomate de cáscara de la Universidad Autónoma Chapingo, COLPOS: programa de investigación del Colegio de Postgraduados.

100 g de biomasa seca (mg GAE 100 g⁻¹ BS) derivados de la curva estándar:

$A_{765} = 0.8058 [\text{ácido gálico}] + 0.077; R^2 = 0.9977$

Antocianinas (ANT)

Se cuantificaron mediante la diferencia de pH, según lo descrito por Giusti y Wrolstad (2001), en extracto de metanol de 1 g de fruto deshidratado, triturado y homogenizado. La cuantificación se realizó a 520 nm con las siguientes fórmulas:

$\text{Antocianinas totales (mg L}^{-1}\text{)} = (A \times PM \times FD \times 1000) / (\epsilon \times l)$

Donde: $A = (A_{\lambda \text{ vis-max}} - A_{700, \text{ pH } 1.0}) - (A_{\lambda \text{ vis-max}} - A_{700, \text{ pH } 4.5})$
PM: peso molecular de cianidina 3-glucósido (449.2 g), FD: factor de dilución, ϵ : coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido (26,900) y l: longitud de paso de celda.

Las concentraciones se expresaron en miligramos de antocianinas totales por 100 g de peso seco (mg 100 g⁻¹ BS).

Actividad antioxidante (AA)

Se determinó con el método de decoloración del radical 2,29-azinobis-(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) o ABTS (Re et al., 1999) en extracto metanólico de fruto. Se

expresó en porcentaje de inhibición del radical ABTS (%) para 30 min de reacción, calculado a partir de una curva estándar con base en milimoles equivalentes de trolox por gramo de peso seco (mM TE g⁻¹ BS):

$A_{734} = -0.2754 (\text{trolox}) + 0.5962; R^2 = 0.9991$

Las concentraciones de SAP, CFT, ANT y AA se obtuvieron en triplicado por muestra, en un espectrofotómetro UV-visible (Modelo Genesis 10UV, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, EUA). En el resto de las variables se cuantificaron cinco determinaciones por muestra, excepto en CAR, donde se hizo sólo una.

Análisis estadístico

A los resultados se les aplicó análisis de varianza, comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) y correlaciones de Pearson con el programa estadístico SAS/STAC 9.0 (SAS Institute, 2002). Los valores de °hue y CAR fueron transformados con logaritmo, L, croma, SAP y CFT con arcoseno y ANT y AA con raíz cuadrada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El efecto de las poblaciones fue altamente significativo ($P \leq 0.01$) en L, croma, °hue, CAR y SAP, significativo ($P \leq 0.05$) en CF y TRO y no fue significativo para ANT (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza de las variables determinadas en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

FV	GL	L		GL	°hue		GL	CRO		GL	CAR	
P	10	5.31	**	10	1.29	**	10	22.82	**	10	10.77	**
B	3	0.12	NS	3	0.02	NS	3	0.87	*	3	2.07	*
P × B	30	1.16	**	30	0.03	**	30	1.06	**	28	0.72	NS
Error	518	0.23		500	0.02		518	0.32		52	0.68	
Total	561			543			561			91		
CV (%)		9.41			2.70			15.86			19.75	
Media		43.64			106.19			23.51			163.51	
		SAP			CFT		GL	ANT		GL	TRO	
P	10	43.19	**	10	2.16	*	10	3.12	NS	10	0.23	*
B	3	3.23	**	3	0.53	*	3	1.85	*	3	0.30	**
P × B	28	3.26	**	27	0.86	**	26	1.49	**	27	0.10	**
Error	260	0.42		259	0.16		215	0.58		256	0.02	
Total	301			299			254			296		
CV (%)		20.41			11.46			39.10			11.16	
Media		20.69			21.81			4.54			1.58	

FV: fuente de variación, P: poblaciones, B: bloques, GL: grados de libertad, L: luminosidad, CRO: croma, CAR: carotenoides, SAP: sapogeninas, CFT: compuestos fenólicos totales, ANT: antocianinas, TRO: trolox, **: significativo con $P \leq 0.01$, *: significativo con $P \leq 0.05$, NS: no significativo.

Las diferencias entre tratamientos fueron significativas (Cuadro 3). *Physalis peruviana* mostró el valor mayor de L; aunque, sólo fue diferente ($P \leq 0.05$) con respecto a las poblaciones 183JAL66, 173JAL57 y a *P. nicandroides* con los valores menores. Los valores de °hue diferenciaron la tonalidad amarillo-naranja de *P. peruviana* del resto de las poblaciones, en las que osciló entre verde y verde-morado. El intervalo de croma estuvo entre 41.86 en *P. peruviana* y 13.66 en *P. lagascae*. Los valores de L, tono y croma de la población Jade TFG fueron similares a los obtenidos por Cruz-Álvarez *et al.* (2012) en la variedad mejorada CHF1-Chapingo.

Physalis peruviana presentó la mayor L y saturación de color, con prevalencia de color amarillo (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004). El tono menor en esta especie evidenció su tonalidad diferente del resto de las poblaciones.

CAR de *P. nicandroides* y *P. peruviana* difirió significativamente del resto de las poblaciones, con concentraciones menores; en esta última, CAR fue similar al valor documentado por Mier y Cáez (2011) en el ecotipo Colombia, en grado de color 6, y coloración amarillo-anaranjado; no obstante, posiblemente este pigmento en *P. nicandroides* no se expresó debido al alto contenido de clorofilas que mantiene aún en la maduración. Los carotenoides se encuentran en relación de uno por tres o cuatro partes de clorofila en las plantas, y el color amarillo de aquellos es enmascarado por el de la clorofila, hasta que esta última se degrada durante la maduración (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

La concentración de SAP de *P. peruviana* fue significativamente mayor a la del resto de las poblaciones, excepto la de *P. nicandroides*. La presencia de saponinas, taninos, esteroides y flavonoides se documentó en hojas de *P. peruviana*, usada en la herbolaria del suroeste keniano (Maobe *et al.*, 2013), resultado que concuerda con los obtenidos en la presente investigación.

Concentraciones de 3 a 5 mg mL⁻¹ de saponinas tienen actividad inhibitoria en bacterias, especialmente Gram-negativas (Santos *et al.*, 2005), lo cual se atribuye a la alteración de esos compuestos en la pared celular (Sen *et al.*, 1998), dependiente de la concentración y el tipo de saponinas (Santos *et al.*, 2005). Donkor *et al.* (2012) determinaron que extractos crudos de frutos de *P. angulata* son potentes inhibidores de *Staphylococcus aureus*, pero no de *Pseudomonas aeruginosa*.

La concentración mayor y menor de CFT correspondió a la variedad Jade TFG y *P. lagascae*, respectivamente. El contenido de CFT determinado en este estudio, bajo condiciones de invernadero, fue inferior al de frutos recolectados en campo (Medina-Medrano *et al.*, 2015), aunque en ambas investigaciones *P. angulata* presentó los valores mayores. Los compuestos fenólicos actúan como antioxidantes, que se asocian con mecanismos relacionados con la diferenciación celular, la desactivación de procarcinógenos, el mantenimiento de la reparación del ADN, la inhibición de la formación de N-nitrosamina y el cambio del metabolismo de los estrógenos, entre otros (Shahidi, 2004); además, otros fitoquímicos en alimentos nutracéuticos y funcionales, como fitatos, carotenoides,

Cuadro 3. Comparación de medias de los parámetros de color y composición química parcial de frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Poblaciones	L	°hue	Croma	CAR	SAP	CFT	ANT	TRO
Jade TFG	44.22 abc	109.43 ab	27.83 b	44.05 c	15.15 bc	28.33 a	5.80 a	1.81 a
Zafiro MSM	42.00 abc	108.16 ab	17.76 cde	100.96 c	8.79 c	22.78 abc	3.89 a	1.77 a
158JAL42	43.96 abc	113.37 ab	25.63 b	101.26 bc	12.74 bc	20.87 abc	5.44 a	1.47 a
173JAL57	34.08 c	119.87 a	13.78 e	31.99 c	13.88 bc	16.65 bc	2.53 a	1.34 a
182JAL65	45.73 ab	107.40 ab	22.80 bcd	26.63 c	9.95 c	24.41 abc	5.55 a	1.87 a
183JAL66	33.85 c	114.63 ab	15.10 de	36.43 c	15.21 bc	21.17 abc	4.88 a	1.55 a
Juanacatlán	45.63 ab	110.39 ab	23.49 bc	71.38 bc	11.78 c	26.21 ab	2.43 a	1.86 a
<i>P. peruviana</i>	53.92 a	68.08 c	41.86 a	294.70 ab	59.56 a	17.30 abc	3.80 a	1.31 a
<i>P. angulata</i>	44.93 abc	111.31 ab	27.79 b	106.16 bc	16.83 bc	24.60 abc	7.12 a	1.81 a
<i>P. lagascae</i>	44.73 abc	103.97 b	13.66 e	30.84 c	14.40 bc	14.32 c	3.03 a	1.50 a
<i>P. nicandroides</i>	41.22 bc	113.20 ab	26.47 b	762.15 a	32.97 ab	22.28 abc	1.33 a	1.33 a

L: luminosidad, CAR: carotenoides ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$), SAP: sapogeninas ($\text{mg DE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PF}$), CFT: compuestos fenólicos totales ($\text{mg GAE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PS}$), ANT: antocianinas ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ PS}$), Tro: trolox ($\text{mM TE } \text{g}^{-1} \text{ PS}$). Valores seguidos con letras distintas en una columna son significativamente distintos (Tukey, $P \leq 0.05$).

terpenoides, saponinas e inhibidores enzimáticos, también contribuyen sinérgicamente a mantener la salud (Shahidi, 2009).

Los frutos de las 11 poblaciones presentaron antocianinas, lo cual explica sus tonalidades moradas, excepto Jade TFG que tiende al verde y *P. peruviana*, cuya coloración es amarillo-naranja. La cianidina es una antocianidina con prevalencia en frutos, así como la pelargonidina y la delfinidina (Aguilera et al., 2011), lo que explica el color amarillo-anaranjado de *P. peruviana*. La concentración de antocianinas en todas las poblaciones de *P. ixocarpa* fue superior al intervalo entre 0.15 y 0.22 mg 100 g⁻¹ PS reportados por Rosas-Medina et al. (2020) en frutos de la variedad Rendidora. Estos autores afirmaron que la acumulación del pigmento puede ser un mecanismo para tolerar salinidad. Los cultivares de arroz tolerantes a salinidad contienen concentraciones mayores de compuestos fenólicos y flavonoides en comparación con los susceptibles. Esta respuesta corresponde a especies que enfrentan el estrés mediante la modificación de la biosíntesis y acumulación de compuestos bioactivos (Asensi-Fabado et al., 2017; Minh et al., 2016).

La actividad antioxidante se ubicó en el intervalo de 1.31 a 1.87 mM TE g⁻¹ PS en *P. peruviana* y 182JAL65, respectivamente, sin diferencia significativa, lo que representa aproximadamente entre 51 y 71 % de inhibición del radical ABTS (Figura 1).

La actividad antioxidante de *P. peruviana* fue mayor a la

de frutos con color 6 de la misma especie, obtenida con el método de ABTS en la fase hidrofílica (Repo y Encina, 2008). La actividad antioxidante de un tejido está relacionada con la acción sinérgica de sus compuestos bioactivos, como fenoles, carotenos y ácido ascórbico (Dragovic-Uzelac et al., 2007; Navarro et al., 2006) y la actividad antioxidante total es la suma de esa actividad en las fases hidrofílica y lipofílica (Repo y Encina, 2008). Aunque el ABTS cuantifica antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos, es posible que el extractor utilizado y la presencia de otros metabolitos expliquen la inexistencia de correlación entre CAR y AA (Cuadro 4).

Correlación entre las variables

La correlación entre luminosidad y croma (P = 0.0042) y entre croma y concentración de saponinas (P = 0.0057) fue positiva, y aquella entre °hue y luminosidad (P = 0.0039), °hue y croma (P = 0.0114), y °hue y concentración de saponinas (P = 0.0017) fue negativa. Ya que el color no sólo depende de la concentración de antocianinas, sobresalió la ausencia de significancia en la correlación de estos pigmentos con los componentes del color (Cuadro 4). La correlación entre CFT y actividad antioxidante fue positiva y altamente significativa (P = 0.0059), y no fue significativa la de CFT con antocianinas, ni antocianinas con actividad antioxidante; sin embargo, los compuestos independientes del grupo de los fenoles podrían relacionarse de manera diferente con las antocianinas. En frutos de *P. angulata* solo 16.21 % de CFT correspondió a flavonoides y 21.25 % a ácidos fenólicos, y ambos grupos son reconocidos por

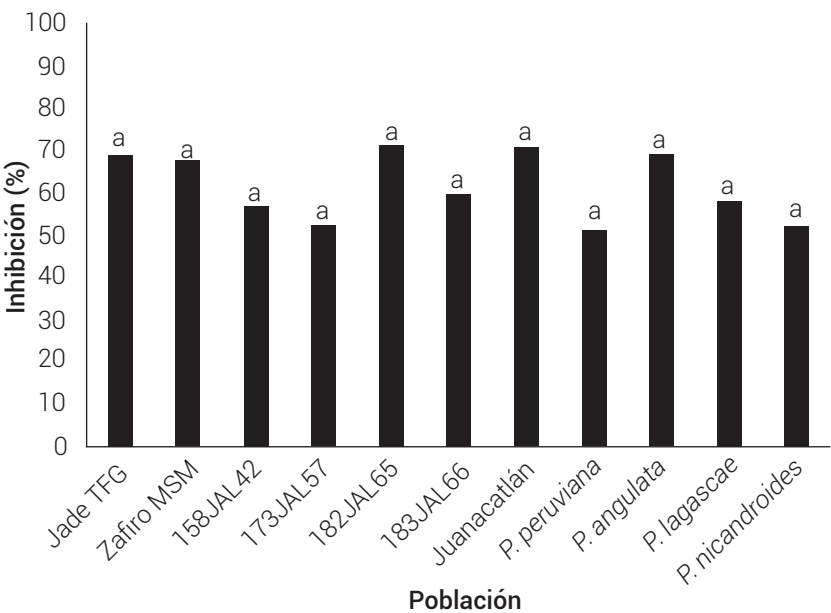


Figura 1. Actividad antioxidante (porcentaje de inhibición del radical ABTS) en frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Cuadro 4. Correlaciones entre variables de color y variables fitoquímicas de frutos de 11 poblaciones de *Physalis* spp.

Variables	°hue	Croma	CAR	SAP	ANT	CFT	TRO
L	-0.789**	0.786**	0.134	0.539	0.072	0.080	0.129
°hue		-0.726*	-0.167	-0.826**	0.042	0.291	0.263
Croma			0.408	0.769**	0.146	0.222	-0.102
CAR				0.588	-0.513	-0.030	-0.499
SAP					-0.245	-0.322	-0.601
ANT						0.386	0.489
CFT							0.767**

L: luminosidad, CAR: carotenoides, SAP: sapogeninas, ANT: antocianinas, CFT: compuestos fenólicos totales, TRO: trolox, *: significativo con $P \leq 0.05$, **: significativo con $P \leq 0.01$.

su actividad antioxidante (Medina-Medrano *et al.*, 2015).

CONCLUSIONES

Los valores de °hue diferencian la tonalidad amarillo-naranja de *P. peruviana* de las poblaciones verde y verde-morado. La luminosidad y el croma están directamente relacionados con la concentración de carotenoides en *P. peruviana*. La concentración de compuestos bioactivos difiere entre especies, *P. nicandroides* y *P. peruviana* muestran concentración mayor de carotenoides y sapogeninas. El valor mayor de compuestos fenólicos totales (CFT) correspondió a la variedad Jade TFG y el menor a la especie *P. lagascae*. Las poblaciones con valores mayores de CFT muestran la mayor actividad antioxidante. Los frutos de todas las poblaciones presentaron antocianinas, lo cual explica la tendencia general hacia tonalidades moradas. Las poblaciones de *Physalis* evaluadas poseen carotenoides, saponinas, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante, lo que las hace promisorias como fuentes nutraceuticas.

AGRADECIMIENTOS

El autor principal le agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca asignada y a la Universidad Autónoma Chapingo por las facilidades otorgadas para llevar a cabo la investigación en el marco de sus estudios doctorales.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (1990) Official Methods and Analysis. 14th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA. 1006 p.
- Aguilera O. M., M. C. Reza V., R. G. Chew M. y J. A. Meza V. (2011) Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biocencia* 13:16-22.
- Arabski M., A. Węgierek-Ciuk, G. Czerwonka, A. Lankoff and W. Kaca (2012) Effects of saponins against clinical *E. coli* strains and eukaryotic cell line. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 2012:286216, <https://doi.org/10.1155/2012/286216>
- Asensi-Fabado M. A., A. Amtmann and G. Perrella (2017) Plant responses to abiotic stress: the chromatin context of transcriptional regulation. *Biochimica et Biophysica Acta* 1860:106-122, <https://doi.org/10.1016/j.bbagg.2016.07.015>
- Bautista P. B., N. Arellanes J., R. M. A. Gámez H. y D. A. Cuevas A. (2016) Efecto de la temperatura en el comportamiento postcosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) var. Rendidora. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 3:1-14.
- Carmona A. J. C. (2007) Efecto de la utilización de arbóreas y arbustivas forrajeras sobre la dinámica digestiva en bovinos. *Revista Lasallista de Investigación* 4:40-50.
- Cheeke P. R. (2000) Actual and potential applications of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* saponins in human and animal nutrition. In: Saponins in Food, Feedstuffs and Medicinal Plants. Proceedings of the Phytochemical Society of Europe, Vol. 45. W. Oleszek and A. Marston (eds.). Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp:241-254, https://doi.org/10.1007/978-94-015-9339-7_25
- Chiang H. C., S. M. Jaw and P. M. Chen (1992) Inhibitory effects of physalin B and physalin F on various human leukemia cells *in vitro*. *Anticancer Research* 12:1155-1162.
- Cruz-Álvarez O., M. T. Martínez-Damián, J. E. Rodríguez-Pérez, M. T. Colinas-León y E. C. Moreno-Pérez (2012) Conservación postcosecha de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) con y sin cáliz. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18:333-344, <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.11.105>
- Diaz A., M. Avendano and A. Escobar (1993) Evaluation of *Sapindus saponaria* as a defaunating agent and its effects on different ruminal digestion parameters. *Livestock Research for Rural Development* 5:1-6.
- Donkor A. M., R. L. K. Glover, J. K. Boateng and V. Y. Gakpo (2012) Antibacterial activity of the fruit extract of *Physalis angulata* and its formulation. *Journal of Medical and Biomedical Sciences* 1:21-26.
- Dragovic-Uzelac V., B. Levaj, V. Mrkic, D. Bursac and M. Boras (2007) The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chemistry* 102:966-975, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.001>
- Eick E. (2008) Solanaceae and Convolvulaceae: Secondary Metabolites. Biosynthesis, Chemotaxonomy, Biological and Economic Significance. Springer. Heidelberg, Germany. 637 p.
- Embuscado M. E. (2015) Spices and herbs: natural sources of antioxidants – a mini review. *Journal of Functional Foods* 18:811-819, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.005>

- Galindo J., A. Aldama, Y. Marrero y N. González (2000) Efecto de *Sapindus saponaria* en los géneros de protozoos y poblaciones de bacterias ruminales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 34:353-358.
- Ghiselli A., M. Nardini, A. Baldi and C. Scaccini (1998) Antioxidant activity of different phenolic fractions separated from an Italian red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46:361-367, <https://doi.org/10.1021/jf970486b>
- Giusti M. M. and R. E. Wrolstad (2001) Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* 2001:F1.2.1-F1.2.13, <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Goetsch A. L. and F. N. Owens (1985) Effects of saponin on digestion and passage rates in cattle fed medium to low concentrate. *Journal of Dairy Science* 68:2377-2384, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81112-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81112-7)
- Hiai S., H. Oura and T. Nakajima (1976) Color reaction of some sapogenins and saponins with vanillin and sulfuric acid. *Planta Medica* 29:116-122, <https://doi.org/10.1055/s-0028-1097639>
- ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas (1999) Frutas frescas. Uchuva. Especificaciones. Norma Técnica Colombiana NTC 4580. Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, Colombia. 17 p.
- Jankiewicz L. (2003) Otros inhibidores y reguladores naturales menos conocidos de las plantas. In: *Reguladores del Crecimiento, Desarrollo y Resistencia en Plantas*. Vol. I. Propiedades y Acción. L. Jankiewicz (ed.). Ediciones Mundi-Prensa y Universidad Autónoma Chapingo. México, D. F. pp:187-191.
- Jankiewicz L. y P. Sobiczewski (2003) Las fitoalexinas y otras sustancias relacionadas con la resistencia de las plantas a los patógenos. In: *Reguladores del Crecimiento, Desarrollo y Resistencia en Plantas*. Vol. I. Propiedades y Acción. L. S. Jankiewicz (coord.). Ediciones Mundi-Prensa y Universidad Autónoma Chapingo. México, D. F. pp:427-453.
- Jovanović S., J. Mrmošanin, B. Zlatković, M. Dukić, A. Pavlović and G. Stojanović (2021) Comparative study on the elemental composition of different parts of cultivated *Physalis alkekengi* (Solanaceae). *Journal of the Serbian Chemical Society* 86:1271-1279, <https://doi.org/10.2298/JSC210712079J>
- Le A. V., S. E. Parks, M. H. Nguyen and P. D. Roach (2018) Improving the vanillin-sulphuric acid method for quantifying total saponins. *Technologies* 6:84, <https://doi.org/10.3390/technologies6030084>
- López R. G. F. y U. Y. Rosas L. (2016) *Ecofisiología de Árboles*. Tercera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 572 p.
- Maobe M. A. G., E. Gatebe, L. Gitu and H. Rotich (2013) Preliminary phytochemical screening of eight selected medicinal herbs used for the treatment of diabetes, malaria and pneumonia in Kisii Region, Southwest Kenya. *European Journal of Applied Sciences* 5:1-6, <https://doi.org/10.5829/idosi.ejas.2013.5.1.65127>
- McGuire R. G. (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254-1255, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Medina-Medrano J., N. Almaraz-Abarca, M. S. González-Elizondo, J. N. Uribe-Soto, L. S. González-Valdez and Y. Herrera-Arrieta (2015) Phenolic constituents and antioxidant properties of five wild species of *Physalis* (Solanaceae). *Botanical Studies* 56:24, <https://doi.org/10.1186/s40529-015-0101-y>
- Meléndez-Martínez A., I. M. Vicario y F. J. Heredia (2004) Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54:149-155.
- Mier G. H. J. y G. Cáez R. (2011) Contenido de polifenoles, carotenos y capacidad antioxidante en frutos de uchuva (*Physalis peruviana*) en relación a su estado de maduración. *ReCiTeIA* 11:103-115.
- Minh L. T., D. T. Khang, P. T. T. Ha, P. T. Tuyen, N. T. Minh, N. V. Quan and T. D. Xuan (2016) Effects of salinity stress on growth and phenolics of rice (*Oryza sativa* L.). *International Letters of Natural Sciences* 57:1-10, <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.57.1>
- Navarro J. M., P. Flores, C. Garrido y V. Martínez (2006) Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry* 96:66-73, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.057>
- Pérez J. P., A. Peña y J. Mulato (1992) Caracterización de germoplasma de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en Chapingo, Mex. *Revista Chapingo* 16:128-137.
- Ramadan M. F. (2011) Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): an overview. *Food Research International* 44:1830-1836, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.042>
- Re R., N. Pellegrini, A. Prolegente, A. Pannala, M. Yang and R. Rice-Evans (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26:1231-1237, [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Repo C. R. y C. R. Encina Z. (2008) Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 74:108-124.
- Rosas-Medina I., A. Colmenero-Robles, N. Naranjo-Jiménez, J. Ávila-Reyes y N. Almaraz-Abarca (2020) La salinidad incrementa el contenido de flavonoides, de antocianinas y el potencial hipoglucemiante de tomatillo (*Physalis ixocarpa*). *eCUCBA* 7:21-29, <https://doi.org/10.32870/e-cucba.v0i13.144>
- Salinas M. Y., C. García S., B. Coutiño E. y V. A. Vidal M. (2013) Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:285-294, <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.3-S3-A.285>
- San Martín R. and R. Briones (2000) Quality control of commercial quillaja (*Quillaja saponaria* Molina) extracts by reverse phase HPLC. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80:2063-2068, [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14<2063::AID-JSFA750>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14<2063::AID-JSFA750>3.0.CO;2-2)
- Santos A. L., H. Jiménez y A. Cano (2005) Efecto *in vitro* de extractos ricos en saponinas de *Pithecellobium saman* y *Sapindus saponaria* sobre el crecimiento de dos bacterias celulolíticas ruminales. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 6:20-25, https://doi.org/10.21930/rcta.vol6_num1_art:32
- Santiago H. J. F. y S. Blas Y. (2009) Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola* 43:81-86.
- Santiago H. J. F., E. Cedillo P. y J. A. Cuevas S. (2010) Distribución geográfica de *Physalis* spp. en México. Prometeo Editores. México, D. F. 245 p.
- Santiago H. J. F., O. Vargas P., O. Grimaldo J., N. Magaña L., F. Caro V., A. Peña L. y J. Sánchez M. (2012) Perfil del Diagnóstico de la Red de Tomate de Cáscara. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 46 p.
- SAS Institute (2002) SAS/STAT Users Guide. Ver. 9.0. SAS Institute, Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Schippmann U., A. Cunningham, D. Leaman and S. Walter (2005) Impact of cultivation and collection on the conservation of medicinal plants: global trends and issues. *Acta Horticulturae* 676:31-44, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.676.3>
- Sen S., H. P. S. Makkar, S. Muetzel and K. Becker (1998) Effect of *Quillaja saponaria* saponins and *Yucca schidigera* plant extract on growth of *Escherichia coli*. *Letters in Applied Microbiology* 27:35-38, <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.1998.00379.x>
- Shahidi F. (2004) Functional foods: their role in health promotion and disease prevention. *Journal of Food Science* 69:R146-R149, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb10727.x>
- Shahidi F. (2009) Nutraceuticals and functional foods: whole versus processed foods. *Trends in Food Science & Technology* 20:376-387, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.08.004>
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2022) Catálogo Nacional de Variedades Vegetales 2020. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/606027/CNVV_2020_OK.pdf (Abril 2022).
- Tacon A. (1995) Ictiopatología Nutricional. Signos Morfológicos de la Carencia y Toxicidad de los Nutrientes en los Peces Cultivados. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 77 p.
- Tuxtla-Andrade M. R. M., N. Magaña-Lira, A. Peña-Lomelí, H. Lozoya-Saldaña, S. G. Leyva-Mir y M. G. Peña-Ortega (2022) Compatibilidad de cruzas entre poblaciones silvestres tolerantes a virus y

- cultivadas de tomate de cáscara. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45:43-53, <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.43>
- Valdez F. R., L. J. Bush, A. L. Goetsch and F. N. Owens (1986)** Effect of steroidal sapogenins on ruminal fermentation and on production of lacting dairy cows. *Journal of Dairy Science* 69:1568-1575, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(86\)80573-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80573-2)
- Wallace R., L. Arthaud and C. Newbold (1994)** Influence of *Yucca schidigera* extract on ruminal ammonia concentrations and ruminal microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology* 60:1762-1767, <https://doi.org/10.1128/aem.60.6.1762-1767.1994>
- Wang Y., T. McAllister, L. Yanke and P. Cheeke (2000)** Effect of steroidal saponin from *Yucca schidigera* extract on ruminal microbes. *Journal of Applied Microbiology* 88:887-896, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2000.01054.x>
- Waterman P. G. and S. Mole (1994)** Analysis of Phenolic Plant Metabolites. Ecological Methods and Concepts. Blackwell Scientific Publications. London, UK. 248 p.
- Williams A. and G. Coleman (1991)** The rumen protozoa. *In*: The Rumen Microbial Ecosystem. P. N. Hobson and C. S. Stewart (eds.). Springer-Verlag. New York, USA. pp:73-139, https://doi.org/10.1007/978-94-009-1453-7_3

